第 43 卷 第 1 期
2000 年 2 月

昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

Vol.43, No.1
Feb., 2000

文章编号：0454-6296（2000）01-0107-05

叶色草蛉幼虫对棉蚜的捕食效应：种内干扰和空间异质性

苏建伟，盛承发，杨星科
（中国科学院动物研究所，北京 100080）

中图分类号：Q968.1 文献标识码：A

Butler 和 May[1]在室温条件下测定普通草蛉 *Chrysopa carnea* Stephens 对 *Heliothis zea*（Boddie）卵的捕食效应时，设置了简单空间（玻璃皿）和复杂空间（含“人造棉花”的大养虫室），结果表明草蛉幼虫在复杂空间的捕食量只有在简单空间中的 8.7%～10.9%，显然种内的干扰，空间的大小和异质性对捕食过程产生了重要影响。容器小使猎物密度显著增高，捕食者几乎不用寻找就可以发现猎物，因此它并不能真实地反映捕食者在不同猎物密度下的捕食效率，而只能说明捕食者在这种条件下的一种捕食行为，同时一个很小的封闭系统对捕食者和猎物的行为都会产生很大影响，所发生的是与自然情形下不同的行为，这种理论研究的结果并不能真实地反映田间实际情况。国内有关空间异质性的研究工作较少[2~4]，涉及草蛉类群的工作鲜有报道，我们着重研究了在不同空间异质性条件下叶色草蛉 *Chrysopa phyllochroma* Wesmael 幼虫对棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 的功能反应及其种内干扰过程，结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 试验虫源与器具

叶色草蛉成虫采自山东省滨州市南郊苗圃，在实验室用玻璃缸（直径 12 cm，高度 12 cm）饲养[5]，所产卵在人工气候箱（LRH-250-GS）中孵化，温度为 26℃，相对湿度为 70%，光照时间为每天 13 h。幼虫饲养至适当龄期后作为虫源供测试用。猎物为棉蚜，从未施药的试验棉田的植株上采获。

试验所用的器具是：培养皿（直径 15 cm，高度 2.5 cm），玻璃缸 A（直径 12 cm，高度 12 cm），玻璃缸 B（直径 12 cm，高度 12 cm，缸内置有 3 张波状折叠的面积各为 4 cm×12 cm 的白纸片作为障碍物）和小笼罩（50 cm×50 cm×80 cm），所有测试幼虫在试验前均停止供食 24 h，所有试验处理均重复 2 次。

1.2 不同温度条件下叶色草蛉幼虫的种内干扰

试验在培养皿中进行，捕食者设 1、2、3、5 和 7 头 5 个处理，以下列蛉蚜比例置入猎物数，1 龄草蛉幼虫为 1:20，2 龄幼虫为 1:35，3 龄幼虫为 1:50，试验在两个温度下（24℃ 和 28℃）进行。24 h 后记录剩余蚜虫数。试验结果用 Hassell[6]方程进行拟合。

$$E = Q \cdot P^{-m} \quad (1)$$

式中：E 为捕食效率，P 为捕食者密度，Q 为搜索常数，m 为干扰常数。

1.3 不同空间条件下叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应

试验在培养皿、玻璃缸 A 和加有障碍物的玻璃缸 B 内进行，分别置入 1 头草蛉幼虫和一定数量的棉蚜。棉蚜密度设 5 个处理，伴随 1 龄幼虫放入的棉蚜数分别为 5、10、15、25 和 35 头，2 龄幼虫分别为 10、20、

基金项目：国家自然科学基金资助项目（39221001）
收稿日期：1998-07-18；修订日期：1999-01-03

30、50和70头，3龄幼虫分别为15、30、45、75和105头。24 h后记录剩余蚜虫数。试验结果用Holling II型反应进行数学模拟。其方程[7]为

$$N_a = \frac{a \cdot T \cdot N}{1 + a \cdot T_h \cdot N} \tag{2}$$

式中：N_a 为被捕食的猎物数，a 为捕食者对猎物的瞬间攻击率，T 为猎物暴露于捕食者的总时间，N 为猎物初始密度，T_h 为捕食者对1头猎物的处置时间。

考虑空间的异质性，作如下处理：以培养皿作为简单空间，其容积和内表面积都设定为1（容积为441.8 cm^3，内表面积为471.2 cm^2），则玻璃缸A和玻璃缸B的容积 V_A 与 V_B 都为3.07（容积为1357.2 cm^3），玻璃缸A和玻璃缸B的内表面积 S_A 与 S_B 分别为1.44（内表面积为678.6 cm^3）和2.05（678.6 cm^2 + 纸片表面积288 cm^2），用下式[2, 4]对 a 和 T_h 进行计算：

$$K = k \cdot V^{\alpha} \cdot S^{\beta} \tag{3}$$

式中：K 为复杂空间的计算值，k 为设定的简单空间内的理论估计值，V 为对简单空间的容积相对值，S 为对简单空间的内表面积相对值，α 和 β 为常数。

1.4 不同空间条件下叶色草蛉幼虫的种内干扰

试验分别在培养皿、玻璃缸A和加有障碍物的玻璃缸B内进行。

捕食者设1、2、3、5、7头5个处理，以下列蛉蚜比例置入猎物数，1龄草蛉幼虫为1:20，2龄幼虫为1:35，3龄幼虫为1:50，24 h后记录剩余蚜虫数。试验结果用方程（1）和（3）进行拟合或计算。

1.5 田间笼罩条件下叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应

小笼罩中含1株棉花，提前3天喷药去除植株上的昆虫和蜘蛛等。每株接种1头草蛉幼虫和一定量的棉蚜。棉蚜密度设5个处理，伴随草蛉1龄幼虫放入的棉蚜数分别为5、10、15、25和35头，2龄幼虫分别为10、20、30、50和70头，3龄幼虫分别为15、30、45、75和105头。24 h后记录剩余蚜虫数。试验结果用方程（2）进行数学模拟。

1.6 田间笼罩条件下叶色草蛉幼虫的种内干扰

小笼罩中含1株棉花，提前3天喷药去除植株上的昆虫和蜘蛛等。

2龄草蛉幼虫设1、2、3、5和7头共5个处理，分2组分别按1:20和1:30的蛉蚜比接种棉蚜，24 h后记录剩余蚜量。试验结果用方程（1）进行拟合。

2 结果与分析

2.1 不同温度下叶色草蛉幼虫的种内干扰

在恒温24℃、28℃条件下分别测定了叶色草蛉1、2、3龄幼虫的种内干扰，所得数据用方程（1）拟合后的结果列表1。

从表中数据分析，当温度从24℃升到28℃时，草蛉幼虫的搜索常数和个体间的相互干扰常数都略有增加。这可能是由于温度上升使猎物和捕食者的运动速度及运动距离都发生变化，捕食者所完成的搜索范围扩大，猎物逃脱捕食者攻击的成功率也增加，然而由于容器较小，捕食者和猎物的活动受到较大限制，这就使捕获成功率上升，这种情形与Evenson[8]报道的结果相似。

2.2 叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应

在不同的空间条件即培养皿、玻璃缸A和有障碍物的玻璃缸B内，叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应的数据用方程（2）拟合的结果列于表2中。

用方程式（3）对玻璃缸A和B条件下所测得的 a 和 T_h 值进行计算，结果为：

$$a' = a \cdot V^{-0.0351} \cdot S^{-0.4163}$$

$$Th' = Th \cdot V^{-0.1033} \cdot S^{0.1439}$$

说明叶色草蛉幼虫瞬时攻击率随着空间体积和内表面积的增大而下降，处置时间则随着空间体积的增大而缩短，而随着内表面积的增大而延长。

2.3　叶色草蛉幼虫的种内干扰

在不同的空间条件内的叶色草蛉幼虫的种内干扰试验的数据用方程（1）拟合的结果列于表 3 中。

表 1　不同温度下叶色草蛉幼虫的种内干扰*

Table 1　Intraspecific interference of green lacewing larvae at treated temperatures

温度 Temperature (℃)	1 龄幼虫 1st instar larvae		2 龄幼虫 2nd instar larvae		3 龄幼虫 3rd instar larvae	
	Q	m	Q	m	Q	m
24	0.9325	0.0626	0.9412	0.0628	–	–
28	0.9602	0.0631	0.9407	0.0657	0.9427	0.0716

*　所有拟合结果的相关系数都达到 0.05 的显著水平，下表同

Correlation coefficients are significant at $P=0.05$, the same for the following tables

表 2　叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应

Table 2　Functional response of green lacewing larvae to cotton aphid

饲养器具 Rearing container	1 龄幼虫 1st instar larvae		2 龄幼虫 2nd instar larvae		3 龄幼虫 3rd instar larvae	
	a	T_h	a	T_h	a	T_h
培养皿 Petri dish	1.0104	0.0225	1.0180	0.0122	1.0300	0.0061
玻璃缸 A Glass vessel	0.9413	0.0236	0.9846	0.0139	1.0145	0.0074
玻璃缸 B Glass vessel with barries in it	0.7814	0.0251	0.8258	0.0154	0.8366	0.0072

表 3　不同空间条件下叶色草蛉幼虫的种内干扰

Table 3　Intraspecific interference of green lacewing larvae at different conditions

饲养器具 Rearing container	1 龄幼虫 1st instar larvae		2 龄幼虫 2nd instar larvae		3 龄幼虫 3rd instar larvae	
	Q	m	Q	m	Q	m
培养皿 Petri dish	0.9247	0.0624	0.9408	0.0663	0.9413	0.0721
玻璃缸 A Glass vessel	0.8625	0.0588	0.9316	0.0597	0.9208	0.0643
玻璃缸 B Glass vessel with barries in it	0.7719	0.0510	0.8106	0.0537	0.8543	0.0557

显然，不论是试验空间的加大还是复杂程度的增加，都不会使功能反应的类型发生明显变化，但空间的异质性的差异引起了捕食过程的参数变化，用方程（3）对玻璃缸 A 和 B 条件下所测得的 Q 和 m 值进行计算，结果为：

$$Q' = Q \cdot V^{-0.0299} \cdot S^{-0.2429}$$

$$m' = m \cdot V^{-0.0825} \cdot S^{-0.2936}$$

说明搜索常数（Q）和干扰常数（m）都随着空间体积（V）和内表面积（S）的增大而变动。

2.4 田间笼罩条件下叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应

在田间笼罩条件下叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应数据用方程（2）拟合的结果列表4中。

比较表4和表2，显然叶色草蛉幼虫在田间笼罩条件下时，其瞬时攻击率明显改变，与培养皿中测得的参数相比，1龄幼虫减少的幅度达到45.2%，2龄幼虫减少37.3%，3龄幼虫减少42.9%。比在玻璃缸A和玻璃缸B中测得的参数也明显减少。说明天敌在田间捕食的猎物数量远不及室内较小空间养虫器皿的捕获数。

2.5 田间笼罩条件下叶色草蛉幼虫的种内干扰

田间笼罩条件下叶色草蛉的种内干扰试验数据用方程（1）拟合如下。

表4 笼罩条件下叶色草蛉幼虫对棉蚜的功能反应

Tab. 4 Functional response of green lacewing larvae to cotton aphid in field cage

幼虫龄期 Stadium	a	T_h	$1/T_h$
1龄幼虫 1st instar larvae	0.5535	0.0260	38.46
2龄幼虫 2nd instar larvae	0.6388	0.0158	63.29
3龄幼虫 3rd instar larvae	0.5880	0.0086	116.28

表5 笼罩条件下2龄草蛉幼虫的种内干扰

Table 5 Intraspecific interference of green lacewing larvae in field cage

蛉蚜比 Ratio of lacewing to cotton aphid	Q	m	相关系数 Correlation coefficient
1:20	0.5678	0.0493	0.8772
1:30	0.7133	0.0467	0.8532

比较表5和表3，显然叶色草蛉幼虫在田间笼罩条件下时，其搜索常数和干扰常数也明显改变，与培养皿中测得的参数相比，2龄幼虫常数Q减少24.2%～39.7%，常数m减少25.6%～29.6%。比在玻璃缸A和玻璃缸B中测得的参数也都有减少。说明天敌在田间笼罩条件下种内干扰的剧烈程度远不及实验室所估计的理论值。

3 讨论

昆虫种群密度往往是以“头/生境单位”来表示的，“生境单位”的大小和异质性的不同必然影响到捕食者功能反应。在室内养虫器皿中测得的功能参数是完全不同于田间自然植株上所发生的情形，因为两者的试验条件明显不同：1）空间的大小。养虫器皿（如培养皿）的容积和内表面积是封闭和有限的，而田间试验中大田的空间是开放的，棉株的各部分的表面积也大大超出前者，甚至要高出1～2个数量级。2）空间的异质性。室内的养虫器皿中一般不含隔离物，而在田间，棉株枝叶形成一个非常复杂的结构体系，交错的枝叶随机地改变着草蛉幼虫的搜索行为，从而严重影响了幼虫的捕食效应。公式（3）的建立正是基于以上的考虑，但面积倍数S和体积倍数V是两个相对值，如何量化还需进一步研究。

由上面的分析可知，空间异质性对捕食者的功能反应有极其重要的影响，这就提示我们，随着空间异质性的提高，功能反应能否由Ⅱ型转变为Ⅲ型？Murdoch（1975）曾提出：不同密度的猎物存在，可导致捕食者对猎物的功能反应为Ⅲ型。在棉田中，棉蚜多为聚集分布，数量极多，因此叶色草蛉对棉蚜的功能反应有可能为Ⅲ型反应。而且，棉株上的多种猎物共存，猎物密度和空间异质性较高时，捕食者个体间的相互干扰

效应是较小的。

致谢　山东省博兴县植保站所有同志及傅开芳、郝建丽两同学提供热情支持和帮助，谨致以衷心感谢。

参　考　文　献　(References)

[1]　Butler G D, C J May. Laboratory studies of the searching capacity of larvae of *Chrysopa carnea* for eggs of *Heliothis* spp.. J. Ecol. Ent., 1971, 64 (6): 1 459～1 461

[2]　李　超，丁岩钦，马世骏. 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫的捕食作用及其模拟模型的研究 I. 捕食者-单种猎物系统的研究. 生态学报，1982，2 (3)：239～254

[3]　周集中，陈常铭. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究. I. 功能反应. 生物防治通报，1986，2 (1)：2～9

[4]　戈　峰，陈常铭. 八斑球腹蛛对褐飞虱的捕食作用. 生物防治通报，1989，5 (2)：84～88

[5]　苏建伟，盛承发. 叶色草蛉幼虫的个体生长率模型. 生态学报，1998，18 (4)：353～357

[6]　Hassell M P and Varley G C. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. Nature (London), 1969, 223: 1 133～1 137

[7]　Holling C S. Some characteristics of simple types of population and parasitism. Can. Ent., 1959, 91 (7): 385～398

[8]　Evenson P. The relative activity and functional response of *Phytoseiulus persimilim* (Acarina: Phytoseiidae) and *Tetranychus urtica* (Acarina: Tetranychidae): The effect of temperature. Can. Ent., 1980, 112 (1): 17～24

Predation of the green lacewing, *Chrysopa phyllochroma* Wesmael on the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover: intraspecific interference and space heterogeneity

SU Jian-wei, SHENG Cheng-fa, YANG Xing-ke

(Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing　100080)

声　　明

为适应我国信息化建设需要，扩大学术交流渠道，本刊已加入《中国学术期刊（光盘版)》和“万方数据网络系统（ChinaInfo)”。本刊所付作者稿酬包含刊物内容上网服务报酬。如有不同意论文上网的作者，请来函声明，本刊将做适当处理。

《昆虫学报》编辑部